



# SISMICITAT I APLICACIÓ DE LA NOVA NORMA SÍSMICA ESPANYOLA NCSE-02

## REFLEXIONS ENTORN AL DISSENY ESTRUCTURAL D'EDIFICIS

*Aquest article va dirigit a tots els tècnics involucrats en la fase conceptual de qualsevol projecte d'edificació situada en una zona de certa perillositat sísmica. Cal relacionar la PERILLOSITAT SÍSMICA amb la DUCTILITAT de l'estructura projectada, tot això per a evitar la VULNERABILITAT de la solució escollida davant l'acció sísmica.*

### INTRODUCCIÓ A LA SISMICITAT DEL NOSTRE PAÍS.

El darrer sísmes amb danys produït a Catalunya fou l'any 1923 a Viella amb una magnitud de 5,5 i intensitat VIII, mentres que a l'estat espanyol fou l'any 1884 a Alhama de Granada amb 6 de magnitud i IX d'intensitat. Les comarques gironines estan situades en un indret de gran activitat sismogènica amb sísmes de baixa intensitat, i

que sortosament fa molts anys que no tenim cap sísmes destructiu, però amb la incertesa que se'n torni a produir algun. Sense anar més lluny, la matinada del dijous 27 de febrer de 2003, es va produir un terratrèmol al Ripollès de 3,9 graus de magnitud a l'escala de Richter (veure figura 1), que va aterrir a qui ho va patir. També cal recordar que la mitjana d'enregistrament de terratrèmols als sismografs, a les comarques gironines, és d'una vintena de terratrèmols de baixa intensitat per any.

No cal dir que qualsevol poble que perd la seva memòria històrica està condemnat a repetir-la. Amb això vull dir que encara que en determinades zones on probabilísticament hi podria haver un sísmes important, i malgrat tot no es prenen mesures constructives concretes, no per això cal seguir la inèrcia de no pendre-les. Així doncs neix el concepte de "perillositat sísmica" i neix el concepte de "norma sísmica" per a evitar possibles "vulnerabilitats" d'allò que projectem i construïm. Hem de canviar la mentalitat dels projectistes: fer edificis més regulars en planta i alçat, eliminar estintolaments, brotxals, pilars curts, raonar els arriostraments, evitar excentricitats de masses concentrades, etc., o bé fer un anàlisi dinàmica en l'espai que garanteixi allò més estrany; en qualsevol cas s'hauria de fer un correcte disseny estructural antisísmic que majoritàriament no es fa i se'n prescindeix, bé sigui per desinformació, falta de formació o per interessos econòmics imposats i erròniament acceptats.

### NORMA DE CONSTRUCCIÓ SISMO-RESISTENT PER A EDIFICIS NCSE-02.

La zonificació sísmica està basada en una avaluació probabilista de la perillositat sísmica, en termes d'intensitat macrosísmica. El mapa de perillositat que dona la norma



Figura 1.- Sisme de 27.2.03 d'epicentre situat a la muntanya del Taga, entre els municipis de Ripoll i Camprodon. Va tenir deu rèpliques, que només va detectar el sismògraf (diari El Punt de 27.02.03).



correspon a un període de retorn de 500 anys i es presenta en forma d'acceleració bàsica per localitat. A diferència de l'antiga norma NCSE-94, l'acceleració de càlcul ve ponderada per l'anomenat coeficient d'amplificació del sòl, d'aquesta forma:

$$a_c = a_b \cdot p \cdot S$$

**on,  $a_b$ :** acceleració bàsica donada per la norma segons situació geogràfica

**p:** coeficient de risc sísmic segons el tipus de construcció, amb valors de  $p=1$  (edificis normal importància) i  $p=1,3$  (edificis d'especial importància)

**S:** coeficient d'amplificació segons tipus de sòl que en el cas normal de  $(a_b \cdot p) < 0,10g$   $S=C/1,25$

\* sòl tipus I:  $C = 1$   $S=0,80$  (bonifica  $a_b$ )

\* sòl tipus II:  $C=1,3$   $S=1,00$

\* sòl tipus III:  $C=1,6$   $S=1,30$  (penalitza  $a_b$ )

\* sòl tipus IV:  $C=2,0$   $S=1,60$  (penalitza  $a_b$ )

Així en un cas extrem d'una població com Banyoles, Olot o Ripoll (per no parlar del Pla de l'Estany, Garrotxa o Ripollès) que segons la norma tenen unes  $a_b=0,10g$  els hi correspondria amb un terreny sorrenc disgregat (tipus IV) una  $a_c=0,16g$  per edificacions de normal importància i  $a_c=0,21g$  per edificacions d'especial importància. Aquests valors resultants (fins fa poc temps impensables amb la norma NCSE-94) condueixen a una revolució normativa pel que fa a l'aplicació en moltes de les nostres obres. Aquest fet ha de fer reflexionar a molts dels tècnics projectistes quant al desenvolupament conceptual del projecte (sobre aquest tema en parlarem un altre cop en el punt tercer).

Per a completar l'anàlisi de zones de potencial risc d'amplificació de l'acceleració bàsica en la comarca de la Garrotxa, presentem el mapa de zones sedimentàries realitzat pel Sr. Ignasi Capellà (veure figura 3). Parlem de risc potencial perquè no coneixem les litologies en fondària;

parlarem de risc real si hi ha continuïtat en fondària fins a 30m. Obviament aquest anàlisi vindrà caracteritzada per l'estudi geotècnic que s'hi realitzi amb la definició de terreny tipus IV i amb la conclusió d'una acceleració de càlcul de  $0,16g$  en el cas d'edificis de normal importància.

Pel que fa a la ductilitat cal dir que a partir d'acceleracions de càlcul de  $0,16g$ , s'han de construir edificis amb coeficient de comportament per ductilitat com alta ( $u=3$ ) i molt alta ( $u=4$ ) i per tant rebutjar totes aquelles solucions estructurals amb ductilitat baixa ( $u=2$ ) o sense ductilitat ( $u=1$ ). Vol dir que són rebutjables com a solució de projecte estructural les solucions de forjats reticulars i bigues planes on la falta de confinament del nus al pilar li confereix una falta de ductilitat o una ductilitat baixa.

### **Amb l'entrada en vigor de la nova norma sismo-resistent NCSE-02, s'ha millorat l'anterior norma NCSE-94 en diversos aspectes:**

- Tal com ja s'ha dit, hi ha una redefinició de l'acceleració sísmica de càlcul amb la incorporació del tipus de terreny com a factor d'amplificació.
- Poden tornar-se a construir parets de càrrega de 14cm de gruix en murs exteriors i 12cm en murs interiors quan l'acceleració de càlcul és inferior a  $0,12g$  i l'altura de mur sigui menor a vint vegades el seu gruix.
- Per assegurar el lligat del fonament, i quan l'acceleració de càlcul sigui menor a  $0,16g$ , s'autoritza la seva funció a la solera de formigó sempre que la llum entre pilars sigui no major a cinquanta vegades el cantell del paviment, ni menor a 15cm.
- El càlcul de l'ample de juntes sísmiques és amb la nova norma més real, ja que té en compte el període fonamental de l'estructura, quan amb l'antiga norma només era funció de l'acceleració de càlcul i altura de l'edifici.



- Per a acceleracions de càlcul no menors a 0,16g es demanen estructures de formigó armat de ductilitat alta ( $u=3$ ) i molt alta ( $u=4$ ) i a més una reserva de resistència a esforç tallant d'un 25% superior a la requerida per càlcul.

- S'introdueix la dissipació d'energia en triangulacions d'acer tipus "creus de St. Andreu" com a elements de comportament de ductilitat alta ( $u=3$ ).

**No obstant, aquesta norma (igual que l'anterior) té notables defectes. Són els següents:**

- El plànol d'acceleracions bàsiques no coincideix exageradament amb el de la norma francesa dins la zona dels Pirineus: hi ha un salt en uns quants punts de la frontera del doble en la zona francesa. Segons l'Institut Cartogràfic de Catalunya, els valors de l'acceleració bàsica que dona

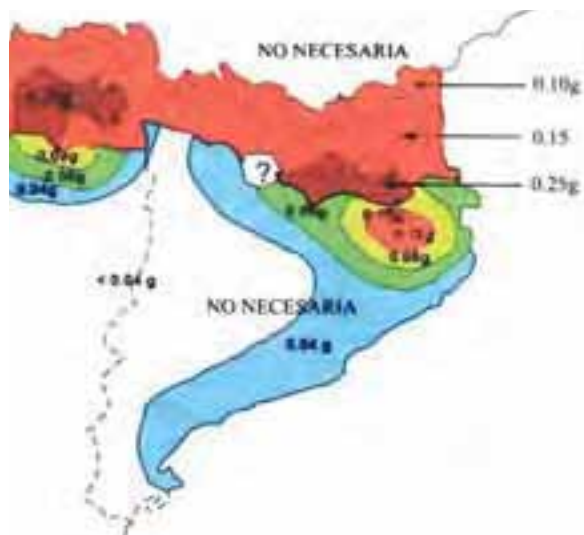


Figura 2.- Mapa de perillositat sísmica a ambdós costats del Pirineu Oriental, segons normatives francesa i Espanyola. Es pot apreciar el sobredimensionat d'acceleracions bàsiques a la zona francesa i l'infradimensionat a la zona catalana amb punts de confluència absurds com seria el cas d'Andorra amb un 0,06g segons norma espanyola i 0,15g a 0,25g segons norma francesa (més d'un 100% de diferència).

la norma NCSE-02 a les comarques de Girona estan infradimensionats almenys un 30%, i a la Vall d'Aran un 100%. D'aquí l'interès per a confeccionar una norma sísmica catalana (veure figura 2).

- Resta ambigua en molts d'aspectes i no diu taxativament el que hauria de dir com a resum del seu contingut: una estructura antisísmica és una estructura pensada per absorbir les accions sísmiques i això des del seu disseny conceptual i no des de la justificació numèrica de l'injustificable.

**Figura 3.-** Plànol d'una part de la Garrotxa, a l'entorn d'Olot, amb terrenys tipus IV segons norma NCSE-02.

(Veure pàgina següent)

**A continuació es transcriu els comentaris realitzats pel Sr. Ignasi Capellà, Doctor en Ciències Geològiques i director de l'àrea de geotècnia del Cecam:**

Aquest plànol representa les principals àrees de l'entorn d'Olot amb sòls que presenten una compacitat i consistència de grau molt baix (color rosat en planol). Corresponen a sediments quaternaris que no es troben consolidats. Es tracta de sorres, graves i argiles d'origen fluvio-torrencial i argiles i llims de tonalitats fosques i amb matèria orgànica (restes vegetals) d'origen lacustre (color rosat amb ratlletes verdes).

Des del punt de vista mecànic els materials granulars, les sorres i les graves, presenten una compacitat que sol ser solta. Només en els trams de graves el dipòsit pot exhibir una major densitat i la seva compacitat pot assolir el grau de mitjanament densa. Els materials cohesius, per la seva banda, disposen d'una consistència molt tova a tova ( $q_u < 0,50 \text{ kg/cm}^2$ ) i ocasionalment mitjana ( $q_u 0,5-1,00 \text{ kg/cm}^2$ ). D'aquest darrer tipus de sòls cal destacar les argiles i llims d'origen lacustre per la seva





Figura 3.- Plànol d'una part de la Garrotxa, a l'entorn d'Olot, amb terrenys tipus IV segons norma NCSE-02.



consistència extremadament baixa. En l'àmbit de la norma NCSE-02, els materials d'aquestes formacions superficials són del tipus IV i ocasionalment del III.

A la zona de la Garrotxa els sòls indicats s'assenten damunt d'un substrat rocallós terciari, format per gresos i/o margues, o d'una colada de basalt més o menys alterada. El seu gruix és molt variable i majorment està relacionat amb la distància a la qual apareixen els relleus del substrat. Sòl ser d'1 a 10m excepte a les zones d'Olot i la plana de Bas, on pot ser superior. Els gruixos màxims es troben a la zona de sediments lacustres de la plana d'en Bas, on poden sobrepassar els 50m.

Cal comentar que algunes de les gredes que constitueixen els cons dels volcans de la zona volcànica d'Olot exhibeixen, bé que no sempre, un grau de compacitat solta. Tanmateix, no es descarta que els valors dels SPT que s'hi ha practicat estiguin influenciats a la baixa per la ruptura dels grans de greda.

**Fonts d'informació:** *Informes geotècnics realitzats per Cecam, mapa geològic d'Espanya 1:50.000 (fulls d'Olot, Ripoll i Manlleu i la carta geològica de la regió volcànica d'Olot, de Mallarach).*

### ALGUNES CONCLUSIONS PRELIMINARS DEL 2on CONGRÉS NACIONAL D'ENGINYERIA SÍSMICA

(MÁLAGA, 1 AL 4 D'ABRIL DE 2003) EN RELACIÓ A L'APLICABILITAT DE LA NORMA NCSE-02.

En el capítol d'anàlisi estructural s'ha denunciat el desconeixement del comportament de les estructures per part de molts tècnics que es dediquen a calcular-les. Entre d'altres raons, gran part de la culpa la té l'ús sense rigor dels programes integrats de càlcul que ofereix el mercat, per gent inexperta. També s'ha denunciat la falta de decisió del consultor d'estructures per plantejar un

canvi de l'estructura prevista per l'arquitecte, per temor a produir-li un canvi del disseny arquitectònic de l'edifici.

Per a resoldre correctament qualsevol projecte d'edifici de normal i especial importància, cal tenir en compte la vulnerabilitat de la solució escollida en funció de la intensitat sísmica traduïda en un coeficient d'acceleració de càlcul. Per arribar a aquest punt d'equilibri cal seguir les següents etapes:

1/ REDACCIÓ DEL PROJECTE CONCEPTUAL (DISSENY ESTRUCTURAL)

2/ RESOLUCIÓ DE DETALLS CONSTRUCTIUS (DUCTILITAT DELS NUSOS)

3/ MODELITZACIÓ I CÀLCUL ESTRUCTURAL (JUSTIFICACIÓ NUMÉRICA)

La primera etapa d'un projecte és definir-lo conceptualment a través d'una correcta TIPOLOGIA ESTRUCTURAL que doni tanta més DUCTILITAT GLOBAL com major sigui l'acceleració de càlcul. Per aconseguir aquesta fita cal tenir un coneixement prou acurat de DISSENY ESTRUCTURAL, sens dubte una de les assignatures més necessàries en moltes carreres tècniques. La realitat és que molts projectistes volen la planta "neta" de pilars i per tant prescindeixen de qualsevol problema derivat. En aquest cas, la funció del consultor d'estructures és vital vers la configuració del projecte executiu i més encara si hi ha perillositat sísmica. La segona etapa és resoldre correctament els DETALLS CONSTRUCTIUS d'estructura per a millorar la DUCTILITAT LOCAL dels punts problemàtics com els nusos d'unió pilar-biga. Un correcte disseny antisísmic comporta la formació de ròtules plàstiques primerament en bigues, després en pilars i per últim en el nus que es preten mantenir. La darrera etapa d'anàlisi és la modelització estructural i el posterior CÀLCUL



ESTRUCTURAL garantint la hipotesi sísmica combinada degudament amb les altres, amb una JUSTIFICACIÓ NUMÈRICA adequada.

Qualsevol alteració quant a ordre dels passos anteriors, podrà representar una VULNERABILITAT tan més gran com més gran sigui l'alteració. Així per exemple, escollir una tipologia estructural a base de forjats reticulars en un índret on l'acceleració de càlcul sigui superior a 0,16g, representa tenir una estructura molt vulnerable amb ductilitat molt baixa (si es prenen mesures addicionals) o nul·la (si es realitzen com s'acostumen a fer realment). D'altra banda cal tenir clar que detalls constructius ben resolts amb una tipologia estructural no adequada, NO serveixen per a res. Així NO hem d'utilitzar elements estructurals de baixa ductilitat (cas de forjats reticulars i bigues planes) en zones d'alt risc sísmic (acceleració de càlcul superior a 0,16g).

Un altra de les conclusions preliminars del Congrés ha estat posar damunt la taula el fet del desconeixement del terreny en el moment de l'aprobació de figures de planejament urbanístic del territori. Com és sabut l'excitació sísmica propagada pel terreny es transmesa a l'edificació que ha de reaccionar dissipant l'energia d'alguna forma. Quan el període de resposta de l'edifici coincideix amb el d'excitació del sòl es produïx el fenomen de la resonància amb el col·lapse de l'edifici. Per a evitar aquest fet segons el tipus de sòl, s'haurien de prohibir certes tipologies edificatòries des de l'aprofitament urbanístic. Desgraciadament és prou evident que avui dia no es fa res d'això i no hi ha cap perspectiva d'obligar els municipis a redactar estudis de riscos geològics prèviament a qualsevol figura de planejament urbanístic. També, sobre el planejament urbanístic, s'ha insistit molt dins del congrés que els ajuntaments haurien de flexibilitzar l'aplicació de les "altures reguladores màximes" (ARM) en les edificacions, ja que s'ha de tenir en compte la necessitat de despenjar les bigues en molts casos.

Finalment dir que la normativa sísmica a l'Estat Espanyol no s'esta aplicant en molts projectes i denunciar una altra vegada la inviabilitat de poder-la aplicar atès el contingut de molts d'altres. Esperem no haver d'esperar un sisme destructiu per conscienciar-nos en l'aplicació de l'arquitectura antisísmica.

Girona, abril 2003

EDUARD BONMATÍ I LLADÓ

Arqte. Tècnic Consultor d'Estructures. Professor de l'UdG.